第41卷 第10期
2024年10月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 41 No. 10
Oct. 2024

新疆耕地系统韧性时空变化特征及其分区划定

金晨阳[1]， 杜宏茹[2]

（1. 新疆农业大学公共管理学院，新疆 乌鲁木齐 830052；2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：本文围绕韧性发生的过程和耕地系统提升韧性所要具备的能力，建立了一套适用于干旱区的耕地系统韧性评价指标体系，旨在将韧性理论应用到耕地系统中，评价新疆耕地系统韧性以及20 a间时空演变特征，提出在韧性视角下新疆耕地可持续利用的政策建议。以栅格网格为尺度，使用综合指数法对新疆耕地系统韧性水平进行测算。结果表明：(1) 2000—2020年新疆耕地面积呈增加态势，其主要分布在水资源丰沛的区域；(2) 新疆耕地系统韧性有小幅度的提升，但整体水平仍偏低，且空间异质性强，20 a间高值区呈现向南部转移的趋势，且主要分布于大河冲积形成的河谷三角洲地带；(3) 20 a间新疆耕地系统的抵御能力和适应能力均有所提高，但转型能力有所下降。在空间分布上，南疆地区耕地的抵御能力和转型能力不断提高，适应能力基本呈现“北高南低”的分布格局。由于影响各地区耕地系统韧性的因素不同，因此，根据2020年耕地系统韧性值将耕地利用系统分为5个分区，并针对每个分区面临的问题，提出了具体提升方案，为今后区域内的耕地可持续利用发展提供参考。

关键词：耕地系统；韧性；评价；耕地管控；新疆

耕地是中华民族永续发展的重要根基，实施最严格的耕地保护制度是我国的基本国策。随着城市建设的步伐加速、国际粮贸市场的不稳定[1]和极端气候灾害的冲击扰动[2]，我国耕地资源面临着一系列危机。根据《第三次全国国土调查主要数据公报》，我国耕地 1.28×10^8 hm^2，优质耕地资源紧缺，一年一熟地区的耕地占全国耕地的47.87%，年降水量800 mm以下地区的耕地占65.04%[3]。耕地资源不合理利用导致了耕地面积减小、优质耕地流失以及新增耕地侵占生态用地等问题[4]。此外，受农业经济效益低的影响，耕地“非粮化”和撂荒现象明显[5]，严重影响了我国耕地资源的可持续利用，对国家粮食安全、耕地资源安全和生态安全产生了一定的威胁[6]。在此背景下，提升耕地系统韧性作为实现耕地可持续利用的关键一环[7]，具有重要的现实意义。

我国对耕地系统韧性的研究刚刚起步，其相关概念和内涵也在不断丰富与完善中。耕地系统韧性是指在人类活动干预下，耕地利用系统所具备的对外界环境的适应能力，抵御外界干扰并维持自身内部结构和产量稳定增加的能力[7]。吕晓等[8]强调耕地系统韧性应关注内生动力与外生动力相配合，通过调整耕地利用系统的内部要素结构、规模形态和运作模式，最大程度地吸收和适应内外部的冲击和扰动，从而转型到新的平衡状态，避免系统衰退的可持续发展能力。苗欣然等[9]将耕地系统韧性和粮食安全相结合，认为耕地自然生态子系统和人类社会经济子系统两者之间通过耦合调节，所表现出的抵御、适应和转变能力，以此达到粮食生产和结构稳定的状态。结合前人的研究，本文认为耕地系统韧性是指人类在利用耕地过程中，耕地会受到各种内外部风险挑战，耕地要具有抵御、适应各种风险挑战，并积极转型的能力，以达到经济、社会和生态的协调发展，确保耕地资源承载能力和粮食生产稳定的态势。

目前，耕地系统韧性的评价方法和指标体系也处于不断探索阶段。孟丽君等[7]依据耕地自身属性和受外界环境影响所产生的结果和效应，将耕地系

收稿日期：2024-03-25； **修订日期**：2024-06-03
基金项目：第三次新疆综合科学考察“吐哈盆地土地资源承载力与生态农业调查评估”项目(2022xjkk1100)
作者简介：金晨阳(1999-)，女，硕士研究生，主要从事土地资源管理. E-mail: j7j7cycy@163. com
通讯作者：杜宏茹. E-mail: duhongru@sina.com

统韧性分为表象韧性和潜在韧性,在此基础上从稳定增长能力、高效利用能力、抵御干扰能力、资源支撑能力四个方面建立了指标体系。李寇琪等[10]从耕地利用系统的功能性、稳定性、冗余度、适应性四个层次构建了指标体系,而Lyu等[11]和Xu等[12]主要从生产、生态、经济、资源和规模结构韧性视角出发来构建指标体系。在方法选择上,有学者从韧性过程属性的视角出发,构建了基于"压力-状态-响应"模型的评价指标体系[9,13]。由于不同地域耕地系统的特点和主要影响因素的差异,以及不同类型区的评价需求,对指标体系进行针对性调整,能够更准确地评价区域内耕地系统韧性的真实状态,同时,基于耕地系统韧性评价上的分区划定和措施研究相对薄弱。相关研究主要集中在对耕地多功能[14-15]、耕地质量[16-17]和耕地保护[18]的分区管控上,而在韧性视角下对耕地利用系统进行分区研究更能体现出耕地利用系统在不断演化中所表现出的抗击能力差异性[7],目前,耕地系统韧性研究已成为焦点议题。

新疆位于我国西北干旱区,基于绿洲的耕地系统具有典型的灌溉农业特征,土壤条件、水资源[19]、风沙侵蚀[20]是影响耕地系统稳定性的重要因素,而耕作水平、种植效益是影响耕地系统转型调整的重要动力。建立科学的评价方法和指标体系,对耕地系统韧性水平进行识别,提出有效的提升方案,是保障绿洲农业体系和提高耕地可持续发展能力的重要研究内容。本文通过构建适用于干旱区耕地系统的韧性评价指标体系,对2000—2020年新疆耕地系统韧性时空演变特征进行分析,识别耕地系统韧性的主要短板区域,提出相应的提升方案,为其他干旱区耕地系统的可持续利用和科学管控提供借鉴。

1 研究逻辑与指标体系

耕地系统韧性的评价中,要充分考虑到耕地系统在面临冲击扰动前的抵御能力,面临冲击扰动时的适应能力,以及在面对这些压力之后进行转型的能力[8]。新疆耕地系统是以干旱区绿洲农业为主,敏感脆弱,受自然条件和人为扰动影响显著。在评价过程中,更多地考虑外界自然环境和人类活动对耕地系统韧性的冲击扰动和影响,从抵御能力、适应能力以及转型能力3个方面构建评价指标体系。

抵御能力指耕地利用系统自身所具备的自然条件或通过采取积极手段和措施,使其在耕作过程中形成抵御突发性自然灾害和不可预测偶发性事件的能力[21]。新疆耕地系统的抵御能力主要是针对干旱区在面临水资源短缺情况以及外部自然环境扰动的能力。本文使用土壤厚度、水分和pH值表示耕地质量本底条件抵御风险灾害的能力[22],其中土壤厚度是指有效土壤厚度,代表农作物根系实际能够扎生的土层厚度[23],土壤厚度较厚会使农作物的根系生长环境得到有效保障。干旱区的自然环境特征使水分成为农业发展必不可少的重要因素,土壤水分充足会促使农作物生长的水环境较好,进一步保障耕地系统免受干旱缺水的影响,考虑到土壤水分会受到季节的影响,本研究所采用的土壤水分数据为相应年份的平均值。土壤pH值指的是土壤的酸性和碱性程度,对农作物营养元素有效性产生影响,若土壤的营养程度较高,耕地系统的韧性也会得到有效保障。用耕地侵蚀程度表示耕地受到风力、水力和冻融侵蚀的状况[24]。塔克拉玛干沙漠和准噶尔盆地中的耕地受风沙的影响,面临着被沙地吞噬的可能,因此,用沙化耕地占比表示耕地抵御风沙的能力[25]。有效灌溉耕地比例和水利设施承载能力表示耕地灌溉的整体情况,以及耕地系统抵御水资源短缺的能力。由于数据的不可获得性,暂不对耕地盐碱化进行评价。

适应能力指耕地利用系统在面对压力与扰动时,所表现出与土壤本底条件、生态环境[26]以及人口数量的相互适应能力[27]。耕地系统的适应能力主要表示耕地与自然环境条件、生态环境变化和人口数量增加之间相互适应的程度。新疆地形整体呈现"三山夹两盆"的形态,耕地的地形坡度、起伏度和高程体现耕地适应自然环境条件的能力,同时新疆生态环境较脆弱,耕地具有一定的生态调节功能。植被净初级生产指数(NPP)所反映的是耕地固定大气中CO_2的能力[28];单位耕地化肥施用强度反映耕地利用系统适应耕作过程中农资投入对生态环境产生不利影响的能力[29];粮食自给率表示耕地粮食产量与人口之间相互适应匹配的能力[30]。

转型能力指耕地利用系统在面对外部冲击和扰动下,显性、隐性变化的能力。显性转型为耕地数量和空间格局在一段时期内的变化[31],隐性转型为投入、规模、产出在一段时期内的变化[32]。

依据上述研究思路框架(图1),结合科学性、代表性、系统性、可操作性原则,基于新疆耕地系统的抵御、适应和转型能力,选取22个指标构建耕地系统韧性的评价指标体系(表1)。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

新疆地处我国西北干旱区,土地面积166.49×10^4 km^2,占全国陆地总面积的1/6,辖14个地级行政区(4个地级市、5个地区、5个自治州),107个县(市、区)。2020年新疆耕地面积7.04×10^4 km^2,受“三山夹两盆”地形地貌的影响,耕地主要集中在地势平坦、水源充足、人口聚集的绿洲区域,例如天山北麓、伊犁河谷、南疆大河冲积形成的三角洲绿洲地带(图2)。

2.2 数据来源

本研究涉及的数据包括土地利用数据、土壤属性数据、DEM数据、NPP数据、土壤侵蚀数据、各级行政区划数据等,数据来源如表2所示。

土地利用数据采用精度为30 m×30 m的土地利用遥感监测数据(CNLUCC),通过提取水田和旱地,并将这两种地类合并,得到耕地的基础数据。土壤属性数据主要包括土壤的pH值、水分和厚度;耕地侵蚀数据包括水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀的强度等级;NPP(第一性生产力)数据表征土地生态过程的关键参数,指总第一性生产量减去植物呼吸作用所剩下的能量或有机物质。土壤、耕地侵蚀、NPP数据通过ArcGIS软件中的重采样功能将所有的栅格数据精度统一为30 m×30 m,经济社会数据先采用ArcGIS软件中面转栅格功能将矢量化的数据转化为栅格数据,再采用栅格计算器功能将经济社会数据与耕地栅格数据相叠加。相较于行政区划尺度,栅格网格尺度可进一步提高研究精度,对耕地系统韧性评价更细致,更利于实现耕地的高效利用。

2.3 研究方法

2.3.1 评价指标标准化和确定权重 采用极差标准化对指标进行标准化处理,使数据介于[0,1]。在评价指标中大部分为正向或负向指标,仅有土壤pH

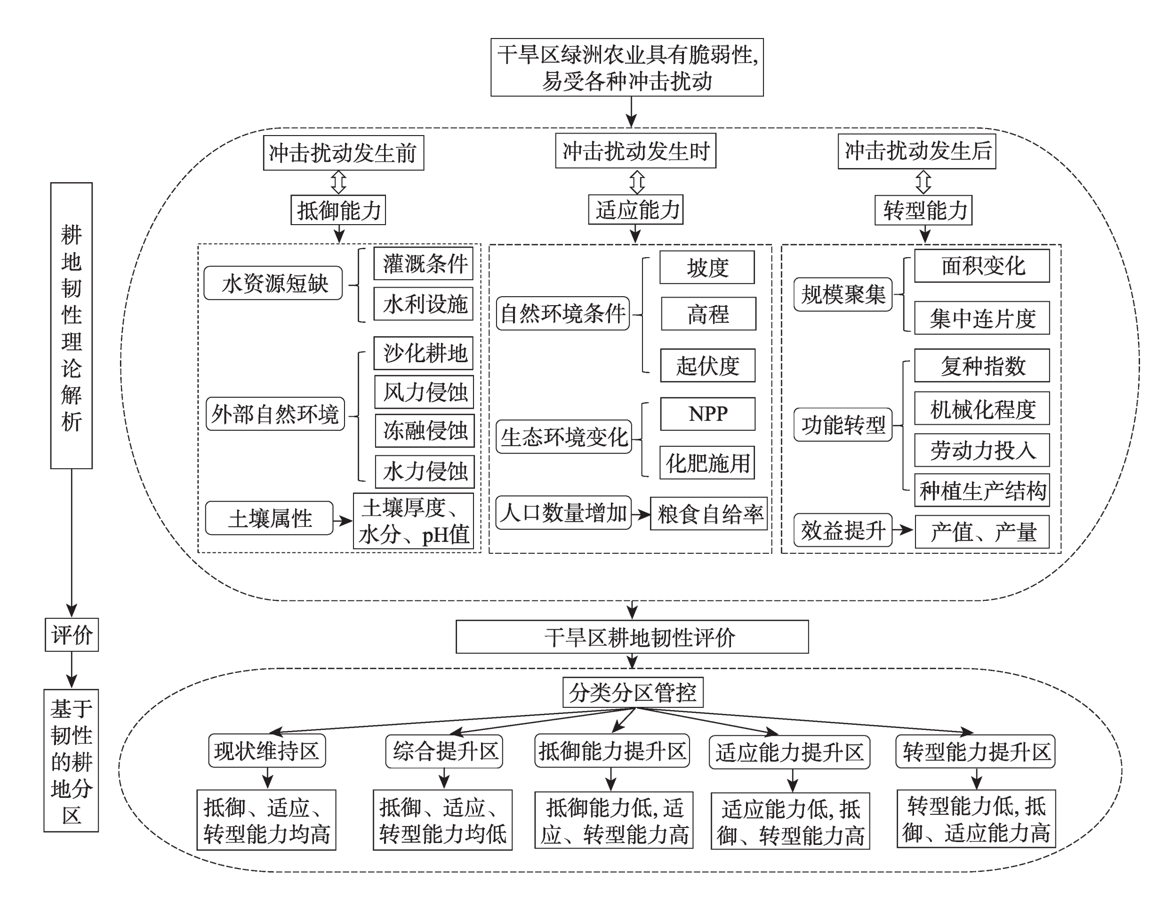


图1 干旱区耕地韧性评价研究框架

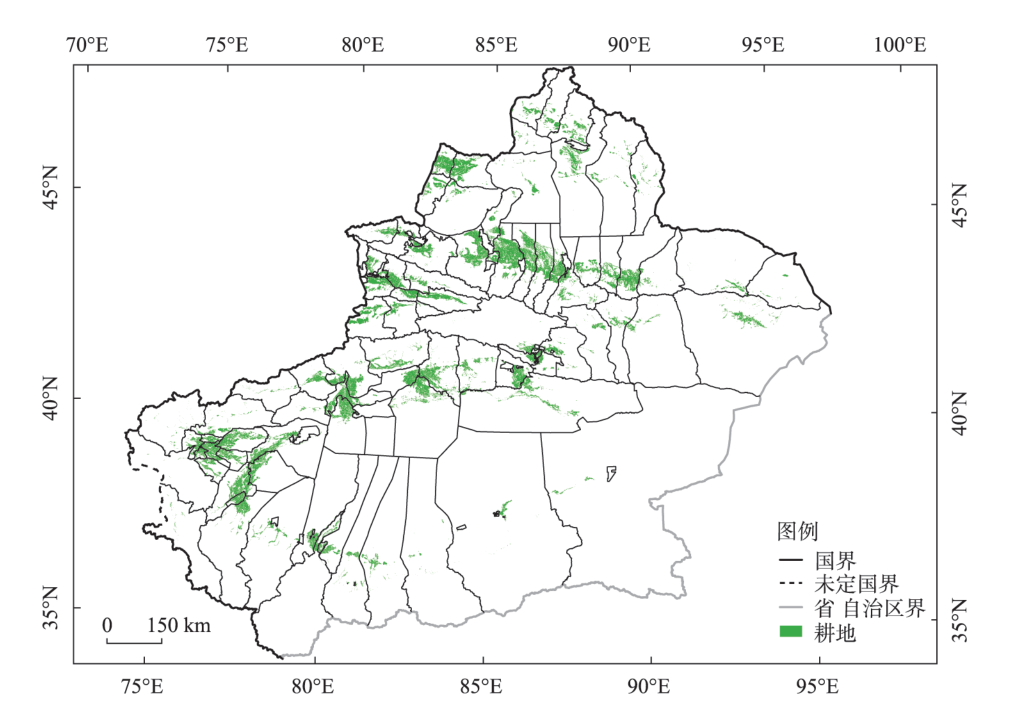
Fig. 1 Framework of cultivated land resilience evaluation in arid areas

表1 耕地系统韧性评价指标体系

Tab. 1 Evaluation indicator system of cultivated land resilience

目标层	准则层(权重)	指标层(权重)	计算方式	指标属性
耕地系统韧性	抵御能力(0.6870)	土壤厚度/cm(0.0340)	栅格数据	+
		土壤水分/($m^3 \cdot m^{-3}$)(0.0257)	栅格数据	+
		土壤pH值(0.0705)	栅格数据	中间型
		耕地侵蚀程度(0.0967)	栅格数据	−
		沙化耕地占比/%(0.0697)	耕地沙化扩大面积/耕地面积	−
		有效灌溉耕地比例/%(0.2483)	有效灌溉面积/耕地面积	+
		单位耕地水利设施(0.1420)	水库坑塘和河渠水域面积/耕地面积	+
	适应能力(0.1265)	坡度/(°)(0.0109)	栅格数据	−
		起伏度/(°)(0.0203)	栅格数据	−
		高程/km(0.0075)	栅格数据	−
		NPP(植被净初级生产指数)(0.0237)	栅格数据	+
		单位耕地化肥施用强度/($t \cdot hm^{-2}$)(0.0305)	化肥使用量/耕地面积	−
		粮食自给率(0.0337)	粮食总产量÷(总人数×400 kg·人$^{-1}$)	+
	转型能力(0.1865)	耕地集中连片度(0.0298)	使用Fragstats 4.2计算	+
		单位耕地农业机械化水平/($kW \cdot hm^{-2}$)(0.0444)	农业机械总动力/耕地面积	+
		耕地面积变化率(0.0079)	两期耕地面积差/基期耕地面积	+
		耕地地均农业产值/(10^4元·hm^{-2})(0.0228)	农业产值(不含林牧渔业)/耕地面积	+
		农业劳动生产率/(10^4元·人$^{-1}$)(0.0266)	农业产值(不含林牧渔业)/农业从业人口	+
		农业生产结构(0.0308)	经济作物面积/农作物播种面积	+
		复种指数(0.0096)	农作物播种面积/耕地面积	+
		粮食单产/($kg \cdot hm^{-2}$)(0.0050)	粮食总产量/粮食播种面积	+
		经济作物单产/($kg \cdot hm^{-2}$)(0.0095)	经济作物总产量/经济作物播种面积	+

注:耕地集中连片度主要选取平均地块面积(MPS)、地块密度(PD)、边界密度指数(ED)、面积加权形状指数(AWMSI)、斑块个数(NP)和破碎化指数(FS)进行评价[33]。经济作物主要指油料作物、棉花和糖料作物。



注:底图采用新疆维吾尔自治区自然资源厅标准地图制作,审图号为新S(2021)047号,对底图边界无修改。下同。

图2 新疆耕地分布示意图

Fig. 2 Cultivated land distribution in Xinjiang

表2 数据来源

Tab. 2 Data source

名称	类型	来源
土地利用	栅格数据	土地利用遥感监测数据(CNLUCC)
起伏度数据	栅格数据	国家地球系统科学数据共享服务中心
土壤属性数据	栅格数据	国家地球系统科学数据中心土壤分中心
DEM、NPP、耕地侵蚀空间分布数据	栅格数据	中国科学院资源环境科学与数据中心
行政区划	矢量数据	中国科学院资源环境科学与数据中心
经济社会数据	统计数据	《新疆统计年鉴》《中国统计年鉴》(2001年、2021年)

值为中间型指标,即pH值越接近7,土壤的酸碱性越适中,因此,通过计算将|pH−7|作为负向指标,即|pH−7|的值越小,土壤的酸碱度越适中。计算公式如下:

$$正向指标:X_{ij}=x_{ij}-x_{ij\min}/x_{ij\max}-x_{ij\min} \quad (1)$$

$$负向指标:X_{ij}=x_{ij\max}-x_{ij}/x_{ij\max}-x_{ij\min} \quad (2)$$

式中:X_{ij}为标准化处理后的值;x_{ij}为未进行标准化处理的值;$x_{ij\max}$为指标的最大值;$x_{ij\min}$为指标单位最小值。

采用层次分析法——专家打分法确定指标权重,专家打分法需要找5~7名专业领域的专家进行打分[9],通过向新疆农业大学和中国科学院新疆生态与地理研究所从事土地资源管理的学者发放调查问卷6份,根据专家经验确定各指标和因素层的权重,各判断矩阵均通过一致性检验。得出各项指标具体权重(表1)。

2.3.2 综合指数法确定综合韧性值 对各项指标指数加权平均,计算评价对象的综合指数,定量地对耕地系统韧性进行综合评价[34]。评价模型如下:

$$U=\sum_{i=1}^{\mu}(X_{ij}\times W_j) \quad (3)$$

式中:U为耕地系统韧性评价指数;μ为评价指标数量;X_{ij}为标准化处理后的值;W_j为指标的权重。U的数值范围在[0,1],数值越大,表明该像元的耕地系统韧性越高。由于指标数据都是栅格数据,因此,用栅格计算器将标准化处理后的栅格数据乘以权重,最终得出耕地系统韧性值。

3 结果与分析

3.1 耕地系统韧性评价结果

评价结果表明(表3),新疆耕地系统韧性整体较低。2020年新疆耕地系统韧性平均值为0.232,其中最大值为0.300,最小值为0.128,处于较低水平。3种能力的评价结果有明显差异,抵御能力的评价值最高,达到0.338;适应能力较低,评价值为0.127;转型能力最低,只有0.078,表明系统抵御内外部冲击和扰动的能力相对于另外两种能力更强,耕地转型能力有很大提升空间。

2000—2020年,新疆耕地系统韧性较为稳定且略有提高。本底属性条件,如土壤pH值、土壤厚度、耕地侵蚀程度和NPP指数,变化较小,而耕作水平和效益,如耕地地均农业产值、单位耕地机械化水平,20 a间呈上升趋势但波动不大。在能力变化方面,2020年耕地的抵御能力和适应能力都比2000年有所增强,其中适应能力增强幅度较高,说明随着现代化农业生产水平不断提升,人类对耕地利用系统的调控能力也在增强,耕地产出增加,与人口之间的适应能力在不断提升。转型能力有所下降,其原因是耕地的集中连片程度有所降低,破碎化现象更加突出。

从空间分布上来看(图3),新疆耕地系统韧性

表3 新疆耕地系统韧性评价结果(2000—2020年)

Tab. 3 Evaluation results of cultivated land resilience in Xinjiang from 2000 to 2020

	韧性		抵御能力		适应能力		转型能力	
	2000年	2020年	2000年	2020年	2000年	2020年	2000年	2020年
最大值	0.291	0.300	0.440	0.452	0.184	0.193	0.124	0.118
最小值	0.125	0.128	0.146	0.166	0.038	0.051	0.041	0.046
平均值	0.228	0.232	0.332	0.338	0.114	0.127	0.087	0.078

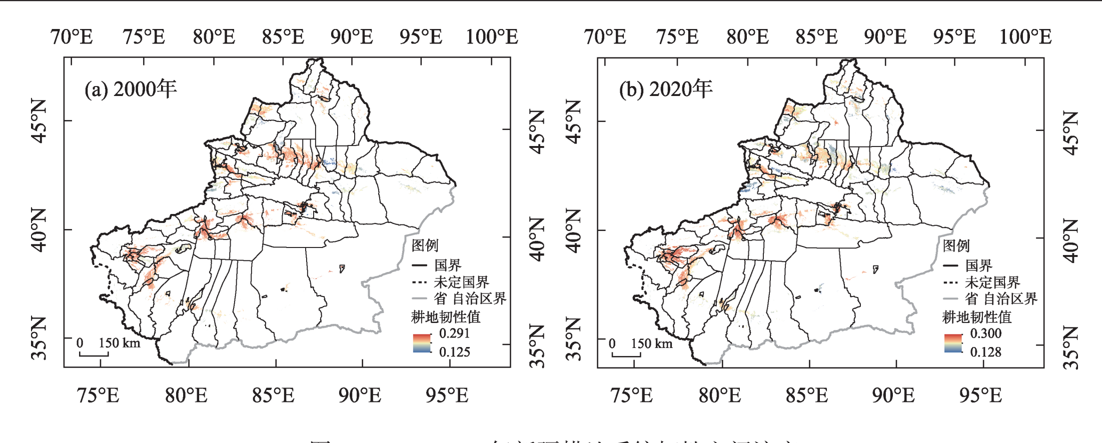


图3　2000—2020年新疆耕地系统韧性空间演变

Fig. 3　Spatial evolution of resilience of cultivated land in Xinjiang from 2000 to 2020

空间异质性显著。韧性较高的区域主要分布在流域三角洲水资源较为丰沛的地区,典型的如开都河、渭干河、阿克苏河、叶尔羌河上游地区,这些区域土壤水分充足,受到风沙风力侵蚀的影响较小,尤其是南疆规模较大的绿洲农业区耕地系统韧性相对较高。天山北坡、伊犁河谷以及塔城北部也有部分集中连片的农业区具有较高的耕地系统韧性。

从时空演变来看,耕地系统韧性水平表现出南疆增强而北疆减弱的变化趋势。由于水土开发的不平衡,北疆地区的沙湾县、玛纳斯县与准噶尔盆地交界地带土壤沙化对耕地系统韧性的影响较为突出。南疆耕地的集中连片程度呈现上升趋势,加之精准扶贫、乡村振兴等政策的扶持,种植生产条件得到明显改善,机械化水平和作物生产能力都有所提升,带动了耕地系统韧性的整体提高。

由图4可知,抵御能力的空间格局变化显著,北疆沙湾县、玛纳斯县、福海县等地的绿洲-荒漠过渡带沙化耕地面积越来越大,导致北疆部分区域的耕地抵御能力下降。适应能力空间变化不显著,天山北麓、伊犁河谷、博尔塔拉河流域粮食自给率较高,人口和耕地之间的适应性较强,南疆受农作物种植结构调整的影响,粮食自给率下降,耕地适应能力有所降低。转型能力的空间格局变化相对显著。南疆呈现出提升趋势,得益于集约化生产的发展,耕地面积和集中连片面积在不断增加,机械化水平和单位耕地产值也有较大提升,农产品附加值较高,这些均促进了耕地的利用转型,尤其是喀什噶尔河流域、渭干河流域转型能力提升最为明显。

3.2　基于耕地系统韧性的管控分区与提升措施

提升耕地系统韧性,要通过识别主要的短板,才能提出更具针对性的提升措施。本文对3种能力的评价数据进行空间叠加,以木桶原理的"短板效应"为依据,划定不同的韧性类型区,进而提出明确的韧性提升的建议。

依据能力评价值的高低,将3种韧性分为两级,分别赋值为1和2,其中1代表能力低,2代表能力高。将栅格数据进行空间叠加,根据对应的叠加数值,进行重分类,得到5种韧性功能区(表4)。3种能力均处于较高水平的区域为现状维持区,均处于较低水平的区域为综合提升区,抵御能力低但适应能力和转型能力高的区域划分为抵御能力提升区,转型能力低但抵御能力和适应能力高的区域划分为转型能力提升区,适应能力低但其他能力高的区域划分为适应能力提升区(表4)。为避免类型区过于繁多,在2种能力低,只有1种能力高的情况下,本文依据权重差异,将其划入权重较高的能力提升类型区。依据该方案,将新疆耕地系统分区划分为5类,进而提出相应的耕地分区与提升措施,分类结果如图5所示。

现状维持区在北疆分布较为集中,主要位于天山北坡的沙湾县、呼图壁县、乌苏市以及博乐市,南疆零星分布在叶尔羌河、喀什噶尔河、阿克苏河、渭干河和开-孔河流域,占全疆耕地面积的14.22%。该区耕地系统韧性的3种能力均较高,自然环境适宜耕地种植,粮食单产高,农业生产结构良好,化肥施用量适中,对生态环境的破坏力小。未来需作为农业现代化发展的核心区域,以高标准农田建设为基础,进一步提升耕地利用效率。

综合提升区主要位于天山北坡玛纳斯县、乌鲁木齐市、木垒县,伊犁河谷的昭苏县以及哈密盆地,

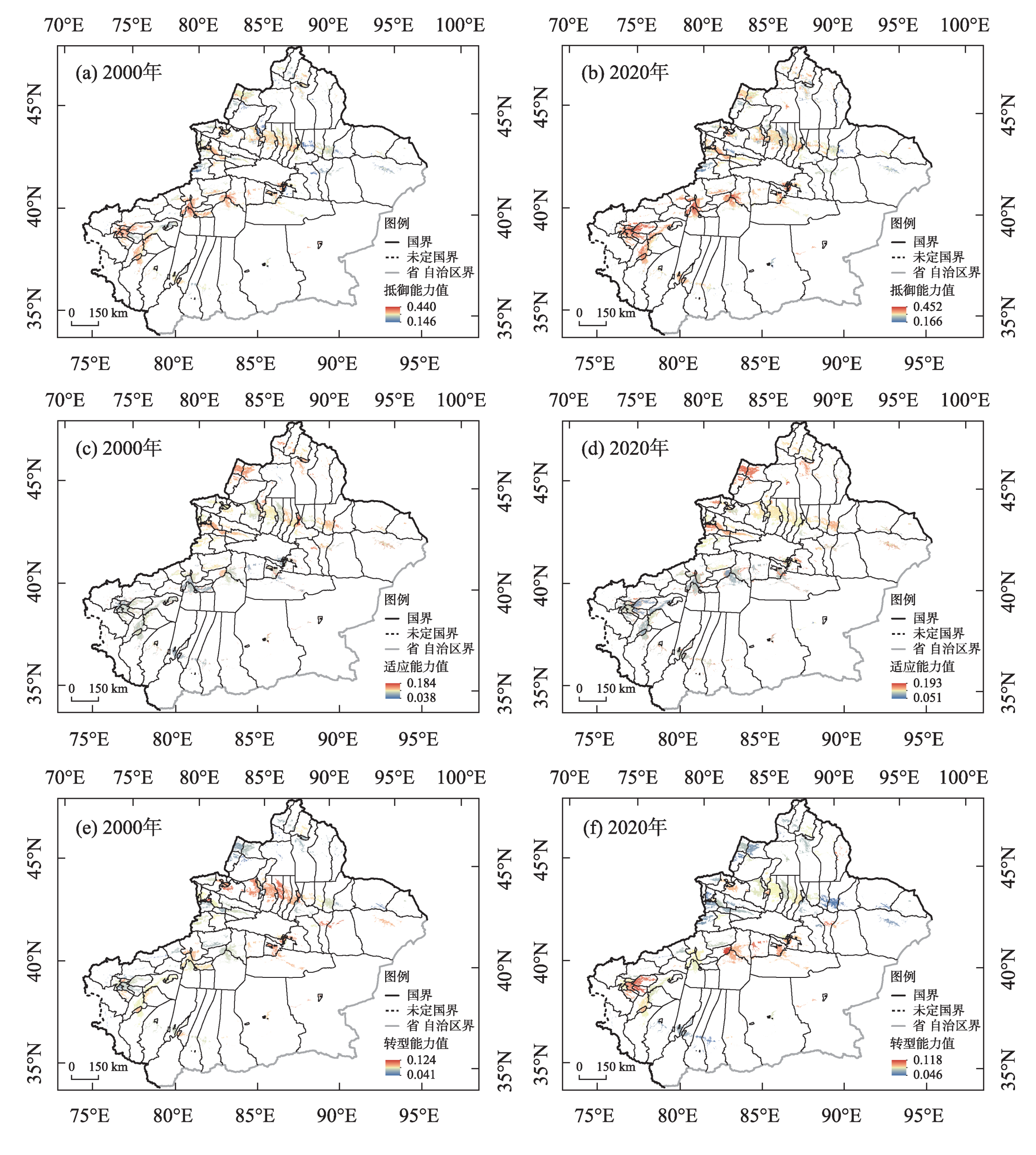


图4 2000—2020年新疆耕地系统韧性能力值时空演变

Fig. 4 Spatial and temporal evolution of resilience values of cultivated land in Xinjiang from 2000 to 2020

表4 耕地系统韧性分区划定规则

Tab. 4 Resilience of cultivated land zoning rules

分区	基本特征	对应的叠加数值
现状维持区	抵御能力、适应能力、转型能力均高	222
综合提升区	抵御能力、适应能力、转型能力均低	111
抵御能力提升区	抵御能力低,适应能力、转型能力高	112,121,122
适应能力提升区	适应能力低,抵御能力、转型能力高	212
转型能力提升区	转型能力低,抵御能力、适应能力高	211,221

占全疆耕地面积的8.56%,该区耕地抵御、适应和转型能力均较弱,突出问题在于耕地沙化现象严重,粮食产量较低。应进一步加强水土平衡和生态保护,加强防风固沙,有效遏制耕地沙化。同时,开展耕地系统整治工作,提升耕地土壤质量。

抵御能力提升区北疆主要位于额尔齐斯河流域和博尔塔拉河流域,南疆主要分布于塔克拉玛干沙漠边缘地带,占全疆耕地面积的26.78%,土壤水分的缺失是造成这些区域抵御能力较低的主要原因。平衡好耕地资源与水资源之间的供需关系,加大水利工程设施的调节能力,治理盐碱化,降低塑料薄膜对生态环境的影响,有助于增强耕地的抵御能力。

适应能力提升区主要分布于叶尔羌河、喀什噶尔河、阿克苏河、渭干河和开-孔河流域的核心地

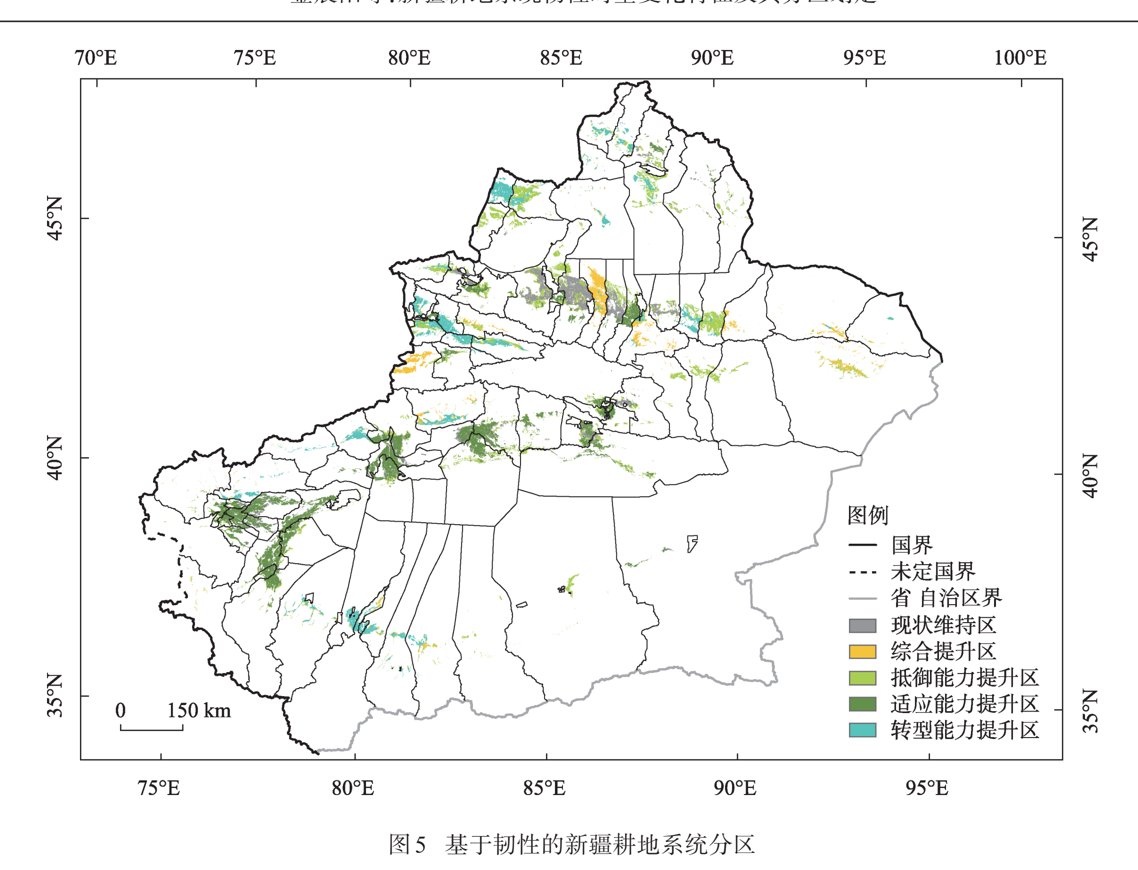


图5　基于韧性的新疆耕地系统分区

Fig. 5　Zoning of cultivated land use system in Xinjiang based on resilience

带,占全疆耕地面积的32.71%。该区域内人口基数大,受种植结构的影响,近年来粮食产量下降,粮食自给率较低。优化粮食和特色农产品的种植结构,扩大高标准农田占比,提升系统整体适应能力。

转型能力提升区主要分布在额敏盆地、伊犁河谷以及和田河流域,占全疆耕地面积的17.73%。该区域的短板因素也有所不同。额敏盆地应提升农业现代化水平,尤其是机械化水平和劳动生产率;伊犁河谷应重点提高耕地的集中连片程度和农业生产效率;和田河流域应进一步优化农业生产结构,提高农业生产效率的同时,注重提高作物的单产水平。

4　讨 论

在我国其他类型区域的相关研究中,土壤条件、农业投入和产出水平是影响东北黑土区耕地系统韧性的障碍因子[9],土壤有机质含量和海拔成为影响耕地质量的主要因素[22,35]。通过新疆的案例研究发现,土壤水分和耕地沙化是影响干旱区耕地系统韧性的关键因素,对南北疆的韧性评价以及变化区域有较为显著的作用。不同地域耕地系统韧性的影响因素有较为明显的差异,加强地域性研究能够为丰富耕地系统韧性研究提供更多的基础。找准主要的影响因素,也能够为不同地域的耕地系统韧性提升给予更具有针对性的指引。

在耕地系统韧性评价基础上开展管控分区划定和管控差异化措施,应成为相关领域研究重点。对于干旱区的耕地而言,平衡好耕地资源与水资源之间的关系,保持土壤水分和肥力充足,让耕地免受风沙灾害侵蚀应成为耕地系统韧性提升的主要措施。但研究也发现,不同的类型区短板因素有差异,提升重点也应有所侧重。对于我国其他地域类型的区域而言,韧性能力的短板不同,相应的管控侧重也应有所差异。探索不同视角下的耕地系统韧性提升路径和提升方案,仍需不断深化和补充完善。

为提高评价的精度,本文探索以栅格网格数据为基础进行分析,将社会经济数据空间化,评价结果更细致,与以往以行政辖区为单元的评价结果相比更具有落地性和针对性,更利于提出针对性的耕地韧性提升路径。新疆作为典型的绿洲灌溉农业区,本研究在指标体系构建过程中,以有效灌溉耕地比例和单位耕地水利设施来评价水资源供给情

况,更能够反映绿洲农业抵御水资源短缺的能力,也体现了干旱区的韧性评价地域特征,未来相关耕地韧性研究中也可进一步补充灌溉保障率和水利设施距离耕地的距离等指标,来补充评价干旱区耕地水资源的供给情况。

5 结 论

本文在构建干旱区耕地系统韧性评价指标体系的基础上,对新疆2000—2020年间耕地系统韧性时空变化进行了评价,提出了韧性提升的分区划定,得出以下主要结论:

(1) 干旱区耕地系统是以绿洲灌溉农业为主,受自然条件和人为扰动影响显著,耕地系统韧性主要体现在抵御能力、适应能力和转型能力3个方面,水资源和灌溉条件、土地沙化和侵蚀程度、生产水平和生产效益是干旱区耕地系统韧性评价的重点内容。

(2) 新疆耕地系统韧性整体较弱,抵御能力强于适应能力和转型能力。2000—2020年耕地系统韧性保持稳定且有小幅提升,抵御能力和适应能力有所提升,但转型能力在降低。南疆耕地系统韧性增强而北疆减弱,南疆区域的转型能力呈现提升的趋势,北疆部分区域抵御能力下降。

(3) 通过识别耕地系统韧性短板,划定出5个韧性提升区域并提出相应的提升措施。抵御能力提升区和转型能力提升区是提升的重点关注区域,针对短板指标可以从加强防风固沙、加大水利工程设施建设、优化粮食和特色农产品的种植结构、提升农业现代化水平等方面提升干旱绿洲农业区耕地的可持续发展能力。

参考文献(References):

[1] 孔祥斌, 陈文广, 党昱譞. 中国耕地保护现状、挑战与转型[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2023, 52(5): 31−41. [Kong Xiangbin, Chen Wenguang, Dang Yuxuan. Current situation, challenges and transformation of cultivated land protection in China[J]. Journal of Science of Hunan Normal University, 2023, 52(5): 31−41.]

[2] 胡林影, 郭杰, 欧名豪, 等. 耕地系统保护的"刚性—弹性—韧性": 理论框架与实施路径[J]. 规划师, 2023, 39(11): 7−13. [Hu Linying, Guo Jie, Ou Minghao, et al. The "Rigidity-elasticity-resilience" of systematic farmland protection: Theoretical framework and implementation path[J]. Planners, 2023, 39(11): 7−13.]

[3] 第三次全国国土调查主要数据成果发布[N]. 人民日报, 2021-08-27(017). [Major Data Results of the Third National Land Survey were Released[N]. People's Daily, 2021-08-27(017).]

[4] 郧文聚, 汤怀志, 桑玲玲. 树立耕地系统认知, 完善最严格耕保制度[J]. 中国土地, 2022(5): 4−7. [Yun Wenju, Tang Huaizhi, Sang Lingling. Establish a systematic understanding of cultivated land and perfect the strictest farming security system[J]. China Land, 2022(5): 4−7.]

[5] 王学, 李秀彬, 宋恒飞. 我国耕地撂荒问题分析及其对策研究[J]. 中国土地, 2023(2): 15−17. [Wang Xue, Li Xiubin, Song Hengfei. Analysis and countermeasure research on cultivated land abandonment in China[J]. China Land, 2023(2): 15−17.]

[6] 谷国政, 宋戈. 辽宁省耕地多功能演变及其价值响应研究[J]. 中国土地科学, 2022(12): 103−116. [Gu Guozheng, Song Ge. Study on the evolution of cultivated land multifunction and its value response in Liaoning Province[J]. China Land Science, 2022 (12): 103−116.]

[7] 孟丽君, 黄灿, 陈鑫, 等. 曲周县耕地利用系统韧性评价[J]. 资源科学, 2019, 41(10): 1949−1958. [Meng Lijun, Huang Can, Chen Xin, et al. Evaluation of cultivated land system resilience of Quzhou County[J]. Resources Science, 2019, 41(10): 1949−1958.]

[8] 吕晓, 王亚男, 王柏源. 韧性理论视角下耕地利用与保护的若干思考[J]. 中国土地, 2022(5): 16−19. [Lyu Xiao, Wang Yanan, Wang Boyuan. Some thoughts on the utilization and protection of cultivated land from the perspective of resilience theory[J]. China Land, 2022(5): 16−19.]

[9] 苗欣然, 李泽红, 王梦媛. 粮食供应安全下东北黑土区耕地利用系统韧性时空演变——以齐齐哈尔市为例[J]. 资源科学, 2023, 45(9): 1801−1816. [Miao Xinran, Li Zehong, Wang Mengyuan. Spatiotemporal changes of cultivated land use system resilience in the black soil region of Northeast China under food supply security: A case study of Qiqihar City[J]. Resources Science, 2023, 45(9): 1801−1816.]

[10] 李宬琪, 张翊, 付保红, 等. 昆明市耕地韧性评价及空间差异[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(12): 4848−4855. [Li Chengqi, Zhang Yi, Fu Baohong, et al. Resilience evaluation and spatial difference of cultivated land system in Kunming[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(12): 4848−4855.]

[11] Lyu X, Wang Y N, Niu S D, et al. Spatio-temporal pattern and influence mechanism of cultivated land system resilience: Case from China[J]. Land, 2021, 11(1): 11.

[12] Xu W Y, Jin X B, Liu J, et al. Spatio-temporal evolution and the detection of key drivers in the resilience of cultivated land system in major grain-producing regions of China[J]. Land Degradation and Development, 2023, 34(15): 4712−4727.

[13] 李玉恒, 黄惠倩, 郭桐冰, 等. 多重压力胁迫下东北黑土区耕地韧性研究及其启示——以黑龙江省拜泉县为例[J]. 中国土地科学, 2022, 36(5): 71−79. [Li Yuheng, Huang Huiqian, Guo Tongbing, et al. Research on cultivated land resilience of the black soil region in the Northeast China under multiple stresses and its implications: The study of Baiquan County, Heilongjiang Province[J].

China Land Science, 2022, 36(5): 71-79.]

[14] 熊昌盛, 张永蕾, 王雅娟, 等. 中国耕地多功能评价及分区管控[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 104-114. [Xiong Changsheng, Zhang Yonglei, Wang Yajuan, et al. Multi-function evaluation and zoning control of cultivated land in China[J]. China Land Science, 2021, 35(10): 104-114.]

[15] 徐磊, 胡浩, 尹士, 等. 河北省耕地功能供需转型时空演变及利用分区[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 403-412. [Xu Lei, Hu Hao, Yin Shi, et al. Spatiotemporal evolution and subarea of cultivated fuction supply-demand transition in Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 403-412.]

[16] 张金懿, 郝晋珉, 王楠, 等. 山东省耕地质量空间自相关分析与耕地保护分区研究[J]. 土壤通报, 2023, 54(4): 757-767. [Zhang Jinyi, Hao Jinmin, Wang Nan, et al. Protection zoning of cultivated land based on spatial autocorrelation in Shandong Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(4): 757-767.]

[17] 孙晓兵, 蔡为民, 孔祥斌, 等. 基于多元主体协同的县域耕地质量调控模式与整治时序分区[J]. 农业工程学报, 2023, 39(21): 232-245. [Sun Xiaobing, Cai Weimin, Kong Xiangbin, et al. Quality regulation pattern and consolidation time zone of county-level cultivated land based on multi agent collaboration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(21): 232-245.]

[18] 朱晓华, 张燕, 朱媛媛. 大食物观视角下中国耕地保护的分区调控与区间协同[J]. 地理学报, 2023, 78(9): 2147-2162. [Zhu Xiaohua, Zhang Yan, Zhu Yuanyuan. Regional regulation and interregional coordination of cultivated land protection in China from the perspective of "Greater Food" approach[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9): 2147-2162.]

[19] 李菲菲, 周霞, 周玉玺. 西北地区农业干旱脆弱性评估及时空分布特征[J]. 干旱区研究, 2023, 40(4): 663-669. [Li Feifei, Zhou Xia, Zhou Yuxi. Vulnerability assessment and spatiotemporal distribution of agricultural drought in Northwest China[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(4): 663-669.]

[20] 薛一波, 黄双燕, 张小啸, 等. 新疆2018年冬季雨雪风沙强降尘事件[J]. 干旱区研究, 2023, 40(5): 681-690. [Xue Yibo, Huang Shuangyan, Zhang Xiaoxiao, et al. Study on the strong winter airborne dustfall mixed rain and snow events in Xinjiang, China in 2018[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(5): 681-690.]

[21] 邢策. 商品粮主产区黑龙江省粮食综合生产能力提升研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021. [Xing Ce. Research on the Promotion of Comprehensive Grain Production Capacity in the Main Gain Producing Areas of Commodity Grain Heilongjiang Province [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2021.]

[22] 潘雪, 关宇淇, 潘占东, 等. 干旱区耕地质量等级时空变化及其评价——以西宁市为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(5): 793-803. [Pan Xue, Guan Yuqi, Pan Zhandong, et al. Spatiotemporal variation and evaluation of cultivated land quality grade in arid areas: A case of Xining City[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 793-803.]

[23] 李超, 赵洋, 杨翠翠, 等. 基于耕地资源质量分类成果的东北地区耕地土壤条件空间分布特征[J]. 土壤通报, 2024, 55(3): 601-609. [Li Chao, Zhao Yang, Yang Cuicui, et al. Spatial distribution characteristics of cultivated land soil conditions in Northeast China based on cultivated land resource quality classification[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2024, 55(3): 601-609.]

[24] 赵蒙恩, 闫庆武, 刘政婷, 等. 鄂尔多斯市土壤侵蚀时空演变及影响因子分析[J]. 干旱区研究, 2022, 39(6): 1819-1831. [Zhao Mengen, Yan Qingwu, Liu Zhengting, et al. Analysis of temporal and spatial evolution and influencing factors of soil erosion in Ordos City[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(6): 1819-1831.]

[25] 张红旗, 李达净. 西北干旱区不稳定耕地概念与分类研究——以新疆昌吉州为例[J]. 地理研究, 2021, 40(3): 597-612. [Zhang Hongqi, Li Dajing. Concept and classification of unstable farmland in arid area of Northwest China: A case study of Changji Prefecture, Xinjiang[J]. Geographical Research, 2021, 40(3): 597-612.]

[26] 杨航, 侯景伟, 马彩虹, 等. 黄河上游生态脆弱区复合生态系统韧性时空分异——以宁夏为例[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 303-312. [Yang Hang, Hou Jingwei, Ma Caihong, et al. Spatiotemporal differentiation of the composite ecosystem resilience in the ecologically fragile area in the upper reaches of the Yellow River: A case study in Ningxia[J]. Arid Zone Research, 2023, 40 (2): 303-312.]

[27] 李文龙, 林海英, 匡文慧. 北方农牧交错区乡村农牧户适应性演化机制——以内蒙古达茂旗农牧户为例[J]. 经济地理, 2020, 40(1): 150-163. [Li Wenlong, Lin Haiying, Kuang Wenhui. Adaptability evolution mechanism of farmers and herdsmen of village in north agricultural-pastoral ecotone: Take Damao Banner in Inner Mongolia as an example[J]. Econamic Geography, 2020, 40(1): 150-163.]

[28] 刘一丹, 姚晓军, 李宗省, 等. 气候变化和土地利用覆盖变化对河西地区植被净初级生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2024, 41 (1): 169-180. [Liu Yidan, Yao Xiaojun, Li Zongxing, et al. Impacts of climate change and land use/cover change on the net primary productivity of vegetation in Hexi Region, Northwest China [J]. Arid Zone Research, 2024, 41(1): 169-180.]

[29] 高佳, 杨宇. 东北粮食主产区耕地利用绿色转型的时空格局及驱动因素[J]. 中国土地科学, 2023, 37(10): 114-123, 134. [Gao Jia, Yang Yu. Spatial-temporal patterns and driving factors of green transformation for cultivated land use of major grain-producing areas in northeastern China[J]. China Land Science, 2023, 37 (10): 114-123, 134.]

[30] 庞晓菲, 陆汝成, 李思旗, 等. 广西边境地区耕地多功能时空分异格局与集聚特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(7): 49-59. [Pang Xiaofei, Lu Rucheng, Li Siqi, et al. Analysis of multi-fuctional temporal and spatial differentiation pattern and agglomeration charcteristics of cultivated land in Guangxi border areas[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional

Planning, 2023, 44(7): 49-59 .]

[31] 谭智元, 黄玉莉, 曹银贵, 等. 中国耕地利用转型研究:热点与前沿[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(6): 1400-1414. [Tan Zhiyuan, Huang Yuli , Cao Yingui, et al. Research on the transformation of cultivated land use in China: Hotspots and frontiers[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(6): 1400-1414.]

[32] 周贵鹏, 龙花楼, 戈大专, 等. 耕地利用隐性形态三维测度及其地域类型研究——以黄淮海地区为例[J]. 地理研究, 2024, 43(1): 180-199. [Zhou Guipeng, Long Hualou, Ge Dazhuan, et al. Study on three-dimensional measurement of recessive farmland use morphology and its regional types: A case of the Huang-Huai-Hai Regiong[J]. Geographical Research, 2024, 43(1): 180-199.]

[33] 陈帷胜, 冯秀丽, 马仁锋, 等. 耕地破碎度评价方法与实证研究——以浙江省宁波市为例[J]. 中国土地科学, 2016, 30(5): 80-87. [Chen Weisheng, Feng Xiuli, Ma Renfeng, et al. Method of cultivated land fragmentation evaluation and empirical research: A case of Ningbo City in Zhejiang Province[J]. China Land Science, 2016, 30(5): 80-87.]

[34] Marlin D, Lamont B T, Hoffman J J. Choice situation, strategy, and performance: A reexamination[J]. Strategic Management Journal, 1994, 15(3): 229-239.

[35] 张智斌, 范燕敏, 武红旗, 等. 新疆阿勒泰地区耕地质量评价及障碍因素诊断[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(7): 1786-1794. [Zhang Zhibin, Fan Yanmin, Wu Hongqi, et al. Study on evaluation cultivated land quality and diagnosis of obstacle factor in Altay Region, Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2022, 59(7): 1786-1794.]

Characteristics of spatial and temporal changes and zoning of cultivated land resilience in Xinjiang

JIN Chenyang[1], DU Hongru[2]

(1. School of Public Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: Based on the occurrence of resilience and the ability of cultivated land system to improve resilience, this study established a set of cultivated land system resilience evaluation index systems applicable to arid areas, with an aim to apply the resilience theory to the cultivated land system, evaluate the cultivated land system resilience and the spatiotemporal evolution characteristics of Xinjiang in the past 20 years, and propose policy suggestions on the sustainable use of cultivated land in Xinjiang from the perspective of resilience. Using grid as a scale, the resilience level of the cultivated land system in Xinjiang was measured using the comprehensive index method. Results showed that (1) The cultivated land area of Xinjiang increased during 2000-2020, and it was primarily distributed in areas with abundant water resources. (2) The resilience of the cultivated land system in Xinjiang increased slightly, but the overall level was still low, and the spatial heterogeneity was strong. In the past 20 years, the area with high value exhibited a trend of shifting to the south, primarily distributed in the valley delta area formed by the alluvial river. (3) In the past 20 years, the resilience and adaptability of the Xinjiang cultivated land system have increased, but the transformation ability has decreased. Regarding spatial distribution, the resilience and transformation ability of the cultivated land system in southern Xinjiang continuously improved, and the adaptive ability basically demonstrated a distribution pattern of “high in the north and low in the south.” Due to the different factors affecting the resilience of the cultivated land system in different regions, the cultivated land-use system was divided into five zones according to the resilience of the cultivated land system in 2020, and the specific optimization plan was proposed to improve the corresponding ability.

Keywords: cultivated land system; resilience; evaluate; cultivated land control; Xinjiang